

# **Hochaufgelöste Strahlungs- und Bedeckungsgradmessungen während der Sommermonate 2004/2005 in Westerland (Sylt)**

N. H. Schade<sup>1</sup>, A. Macke<sup>2</sup>, H. Sandmann<sup>1</sup> und C. Stick<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Medizinische Klimatologie, Hermann-Rodewald-Str. 5, 24098 Kiel, Germany

<sup>2</sup>Leibniz-Institut für Meereswissenschaften, Düsternbrooker Weg 20, 24105 Kiel, Germany

**DACH2007-A-00167**

**Langfassung**

# Hochaufgelöste Strahlungs- und Bedeckungsgradmessungen während der Sommermonate 2004/2005 in Westerland (Sylt)

N. H. Schade<sup>1</sup>, A. Macke<sup>2</sup>, H. Sandmann<sup>1</sup> und C. Stick<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Medizinische Klimatologie, Hermann-Rodewald-Str. 5, 24098 Kiel, Germany

<sup>2</sup>Leibniz-Institut für Meereswissenschaften, Düsternbrooker Weg 20, 24105 Kiel, Germany

## Zusammenfassung.

Mit Hilfe von Pyranometer-/Pyrgeometermessungen und Ganzhimmel-Kamerabeobachtungen ist der Einfluss der Bewölkung auf die kurzwellige und langwellige Einstrahlung am Boden untersucht worden. Die Messungen fanden in den Sommermonaten der Jahre 2004/2005 in Westerland auf der Nordseeinsel Sylt statt. Als Fortschritt gegenüber früheren Studien (z.B. PFISTER et al., 2003) zu diesem Thema ist die sehr hohe zeitliche Auflösung der Wolken- und Strahlungsmessungen zu nennen, die es möglich machte, Strahlungserhöhungen von mehr als  $500\text{ W/m}^2$  gegenüber der theoretischen Referenzstrahlung für unbewölktem Himmel zu beobachten und damit die bisher stärksten uns bekannten Erhöhungen. Außerdem ermöglicht die hohe zeitliche Auflösung eine robustere statistische Analyse dieses Effekts.

Aus den Kamerabildern lässt sich erkennen, dass die stärksten Strahlungserhöhungen bei nahezu bedecktem Himmel auftreten, wobei die Sonnenscheibe von Altocumuluswolken teilweise verdeckt wird und bevorzugt Cumulusbewölkung in tieferen Schichten auftritt. Die Dauer solcher Erhöhungen ist abhängig von deren Stärke und dauert maximal 20 Sekunden für Erhöhungen  $> 400\text{ W/m}^2$  und maximal 140 Sekunden für Erhöhungen  $> 200\text{ W/m}^2$ .

Ein Vergleich der synoptischen Beobachtungen vom Sylter Flughafen mit Bedeckungsgradberechnungen aus der langwirksamen Gegenstrahlung nach dem APCADA-Algorithmus (DÜRR und PHILIPONA, 2004) und aus den Kamerabildern wurde 2005 erstmalig durchgeführt. Dabei schneiden die Berechnungen aus den Kamerabildern etwas besser ab: Zu 72(85) % liegen hier die Abweichungen im Bereich von 1(2) Achtel zur Beobachtung; mit APCADA konnten 60(74) % erreicht werden. Zu beachten ist hier, daß

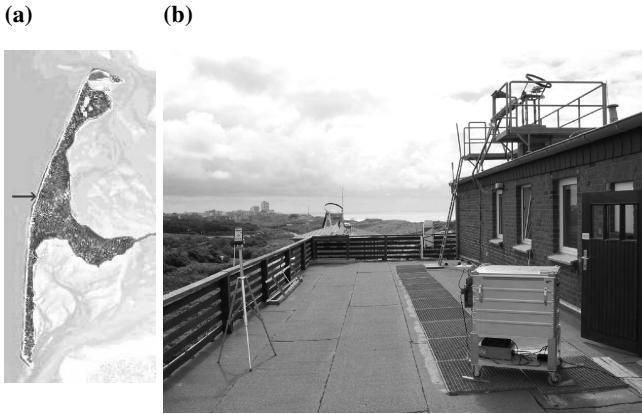
*Korrespondenz an:* A. Macke (amacke@ifm-geomar.de) /  
Tel.: +49-431-600-4057

ein Unterschied von einem Achtel selbst bei zwei geschulten Beobachtern leicht auftreten kann, und daß mit APCADA, werden alle Fälle mit Cirrusbedeckung, die aus Schwankungen der langwirksamen Gegenstrahlung nicht erfaßt werden kann, außer Acht gelassen, auch 73(90) % Übereinstimmung erreicht werden.

## 1 Einleitung

Seit es möglich ist, im Zeitalter der Computer sehr hoch aufgelöste Messungen mit relativ geringem Aufwand durchzuführen, besteht auch die Nachfrage an Methoden zur Wolkenbestimmung direkt aus Messungen. Vielfach ist schon auf die Verwendung von Ganzhimmelkameras hingewiesen worden, die es möglich machen, den menschlichen Beobachter zu ersetzen (OZNOVITCH et al., 1994, SHIELDS et al., 1998, LONG et al., 2001, MORRIS, 2004, SCHADE et al., 2007). Dies funktioniert bei Tageslicht schon recht gut, doch spätestens bei Dunkelheit ist der lichtempfindliche Chip der Kameras noch überfordert. Somit besteht der Bedarf an weiterführenden Ideen.

DÜRR und PHILIPONA (2004) haben eine Algorithmus entwickelt, den *Automatic Partial Cloud Amount Detection Algorithm*, kurz APCADA, der den Bedeckungsgrad aus der langwirksamen Gegenstrahlung (LDR = Longwave Downward Radiation), der Temperatur und der Luftfeuchte in Bodennähe berechnet. Somit ist man unabhängig vom Tageslicht und die Datenmenge ist geringer, da man außer den Standardmessdaten nur noch ein ventiliertes Pyrgeometer zur Erfassung der LDR benötigt. Das Institut für Medizinische Klimatologie Kiel hat in Zusammenarbeit mit dem IFM-GEOMAR im Sommer 2005 den ersten Versuch unternommen, einen Vergleich zwischen Bedeckungsgradbestimmungen aus Augenbeobachtungen, APCADA und Wolkenkamerabildern im Rahmen einer Messkampagne auf Sylt durchzuführen. Ein Ziel war es dabei, die Bedeckungsgradsituationen zu ermitteln, die zu Zeitpunkten



**Abb. 1.** Messstation im Norden von Westerland/Sylt ( $54.93^{\circ}\text{N}$ ,  $8.31^{\circ}\text{E}$ ) mit Wolkenkamera (links im Hintergrund) und Pyranometerplattform (auf dem Dach).

von extremen Strahlungserhöhungen vorherrschten, und eine statistische Analyse zu erstellen (SCHADE et al., 2007).

Als Erweiterung dieser Arbeit soll nun durch den Vergleich der verschiedenen Bedeckungsgradbestimmungen ermittelt werden, welches Verfahren zum bestmöglichen Ergebnis kommt. Die Bestimmung des Bedeckungsgrades aus den Wolkenkamerabildern ist bei SCHADE et al. (2007) und SCHADE (2005) genau beschrieben, ebenso die Vorgehensweise zur Bestimmung der Strahlungserhöhungen. Die Berechnungen nach dem APCADA-Algorithmus werden in Kapitel 2.2 dargestellt, die Güte der Bedeckungsgradbestimmungen schließlich wird im Kapitel 3 im Vergleich mit den synoptischen Beobachtungen der nahegelegenen Wetterstation des DWD am Flughafen Sylt bestimmt.

## 2 Messungen

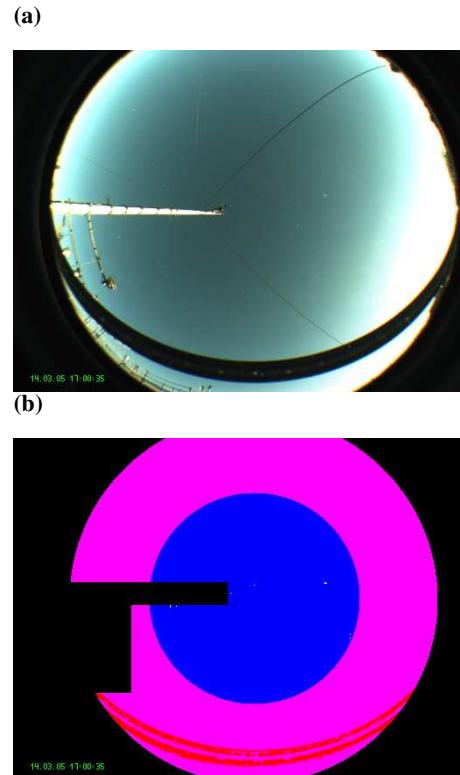
Während der Sommermonate 2004/2005 wurden alle Strahlungsdaten, Wolkenkamerabilder und Standardmessungen im Rahmen einer Zusammenarbeit mit dem IFM-GEOMAR auf der Messstation des Instituts für Medizinische Klimatologie der Universität Kiel nördlich von Westerland erfaßt. Zudem standen die stündlichen Beobachtungen des Deutschen Wetterdienstes vom Flughafen Sylt, etwa 1 km östlich der Messstation zum Vergleich zur Verfügung, welche aufgrund der geringen Entfernung nur geringe Abweichungen zur Situation im Sichtbereich der Messstation zeigen sollten.

### 2.1 Bedeckungsgrad aus den Kamerabildern

Zur Bestimmung des Bedeckungsgrads aus den Kamerabildern (TCA) wurde für jeden einzelnen nicht als "Maske" definierten Bildpunkt, bestehend aus drei 8 bit Signalen

für die Farben rot, grün und blau (RGB), das Rot / Blau - Verhältnis berechnet. Liegt dieser Wert über einem empirisch bestimmten Schwellwert, hier 0.75, so wurde der Bildpunkt als "bewölkt" gezählt. Der TCA wurde dann als Verhältnis der bewölkten Pixel zu allen Pixeln bestimmt.

Um auszuschließen, daß unerwünschte Streueffekte am Bildrand, der vor direktem Licht schützende Schattenring und im Sichtfeld der Kamera befindliche feste Objekte und bewegliche Objekte als bewölkte Pixel gezählt werden, wurde zusätzlich eine feste Maske (schwarze Bildpunkte) und eine "bewegliche" Maske (rote Bildpunkte) etabliert. Als Beispiel zeigt Abbildung 2 einen Fall für wolkenfreien Himmel.



**Abb. 2.** Bestimmung des Bedeckungsgrads (TCA) für einen wolkenfreien Himmel: (a) Originalbild, (b) Berechnung des TCA: Schwarze und rote Bereiche zeigen die Maske, magentafarbene Bereiche die als "wolkenfrei" gezählten Pixel, in Blau erscheint der wolkenlose Himmel und in weiß die bewölkten Pixel.

### 2.2 Bedeckungsgrad nach APCADA

Die langwellige Gegenstrahlung (LDR) wurde mit einem ventilierten Kipp & Zonen CG4 Pyrgeometer mit einer Auflösung von 0.5 Hz gemessen. Um eine exakt gleiche Zeit für alle Messungen zu gewährleisten, wurde eine Meinberg Funkuhr (DCF77 radio-clock PCI511) verwendet.

Da Wolkenunterseiten normalerweise wärmer als die wolkenfreie Atmosphäre aussstrahlen, ist es möglich, den Bedeckungsgrad aus den Schwankungen der LDR zu bestimmen. Da Cirruswolken aufgrund ihrer Höhe eine vom wolkenfreien Himmel nur sehr gering abweichende Strahlungstemperatur haben und die am Erdboden gemessene LDR nur marginal beeinflussen (BERK et al., 2000), ist zu erwarten, daß dies zu einer Unterschätzung des tatsächlichen Bedeckungsgrads führt.

DÜRR und PHILIPONA (2004) haben aufgrund dieser Annahmen den *Automatic Partial Cloud Amount Detection Algorithm* APCADA für die Bestimmung des Bedeckungsgrads ohne hohe Wolken (PCA = *Partial Cloud Amount*) entwickelt. Diese Methode funktioniert im Gegensatz zur Bedeckungsgradbestimmung mit Hilfe einer Wolkenkamera auch bei Dunkelheit.

Die Bestimmung des PCA nach APCADA basiert auf zwei Parametern. Der *Cloud-Free Index* (CFI) wird aus der gemessenen LDR zu

$$CFI = \frac{LDR}{\epsilon_{AC} \sigma T_L^4}, \text{ mit} \quad (1)$$

$$\epsilon_{AC} = \epsilon_{AD} + [k(t) + \Delta k(t)] \left( \frac{e}{T_L} \right)^{1/7}, \quad (2)$$

berechnet, wobei  $\sigma$  die Stephan-Boltzmann Konstante,  $T_L$  die Lufttemperatur in Kelvin,  $\epsilon_{AC}$  die Emissivität eines wolkenfreien Himmels,  $\epsilon_{AD}$  ein konstanter Wert von 0.23,  $e$  der Wasserdampfdruck in Pascal und  $k(t)$  sowie  $\Delta k(t)$  zeitabhängige Funktionen sind, die den Tagesgang der Emissivität des wolkenlosen Himmels beschreiben. Somit können wolkenfreie Situationen deutlich von bedeckten unterschieden werden.

Sowohl  $k(t)$  als auch  $\Delta k(t)$  müssen an Beobachtungen bei Tag und Nacht für wolkenlosen Himmel gefittet werden. Der Tagesfit sollte 3 Stunden nach der örtlichen Mittagszeit durchgeführt werden, wenn die Temperatur den Maximalwert erreicht, also 16:30 MESZ (14:30 UTC) für den Standort Sylt. Für Langzeitmessungen muss zusätzlich in Sommer und Winter unterschieden werden.

Als zweiter Parameter wird die Variabilität der langwellige Gegenstrahlung über die letzte Stunde (Stdev LDR) benötigt, um die wechselnd bewölkten Situationen bestimmen zu können, welche sich durch eine deutlich erhöhte Variabilität auszeichnen.

Schließlich werden drei Schwellwerte,  $1 + az$ ,  $1 + bz$  und  $1 + cz$  definiert, mit

$$z = \frac{1}{\epsilon_{AC}} - 1, \quad (3)$$

$a = 0.12$ ,  $b = 0.21$ , und  $c = 0.38$ , um den CFI in verschiedene Sektoren zu unterteilen. Diese Faktoren wurden

von DÜRR und PHILIPONA (2004) an der Messstation Payerne, Schweiz, bestimmt. Allerdings hat sich herausgestellt, daß sie auch an anderen schweizer Stationen, für Ny Ålesund auf Spitzbergen ( $78.93^{\circ}\text{N}$ ,  $11.95^{\circ}\text{E}$ ), für Kwajalein auf den Marshall Islands ( $8.72^{\circ}\text{N}$ ,  $167.73^{\circ}\text{E}$ ) und einige andere Stationen übernommen werden können. Daher sollten diese Faktoren auch für den Standort Sylt gültig sein.

Es ergibt sich somit ein Schema für die Bestimmung des partiellen Bedeckungsgrads (PCA) in Achteln, welches in Tabelle 1 dargestellt ist.

APCADA		
CFI (x)	Stdev LDR (y), $W/m^2$	PCA
$x \leq 1$	$y \leq 0.5$	0
$x \leq 1$	$0.5 < y \leq 2$	1
$x \leq 1$	$y > 2$	2
$1 < x \leq (1 + az)$	$y \leq 1$	1
$1 < x \leq (1 + az)$	$1 < y \leq 2$	2
$1 < x \leq (1 + az)$	$y > 2$	3
$(1 + az) < x \leq (1 + bz)$	$y \leq 1$	2
$(1 + az) < x \leq (1 + bz)$	$y > 1$	4
$(1 + bz) < x \leq (1 + cz)$	$y \leq 4$	5
$(1 + bz) < x \leq (1 + cz)$	$y > 4$	6
$x > (1 + cz)$	$y > 8$	6
$x > (1 + cz)$	$2 < y \leq 8$	7
$x > (1 + cz)$	$y \leq 2$	8

**Tabelle 1.** PCA = *Partial Cloud Amount*, CFI = *Cloud Free Index*, Stdev LDR = *Variabilität der langwellige Gegenstrahlung*.

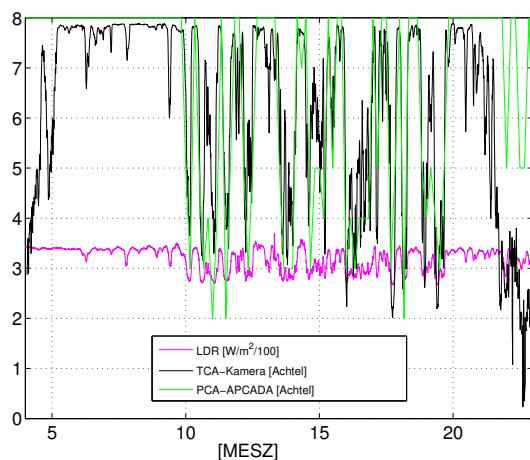
Da alle Schwellwerte auf eine Auflösung von 10 Minuten optimiert sind, wurden alle Temperatur-, Feuchte- und LDR-Messungen auf ein 10-Minuten-Mittel berechnet. Einen Beispieldiagramm der LDR sowie der Bedeckungsgrade nach APCADA und aus den Wolkenkamerabildern zeigt Abbildung 3.

### 3 Ergebnisse

Alle Messungen fanden von Mai bis September 2004 bzw. von April bis August 2005 statt. Um nun die Güte der Berechnungen des Bedeckungsgrads aus den Kamerabildern (TCA) sowie von APCADA (PCA) bestimmen zu können, wurden die Ergebnisse mit Augenbeobachtungen verglichen. Da diese Beobachtungen jeweils zur vollen Stunde gemacht wurden, wurde jeweils der zeitlich naheliegende Wert des TCA bzw. PCA als Vergleich herangezogen.

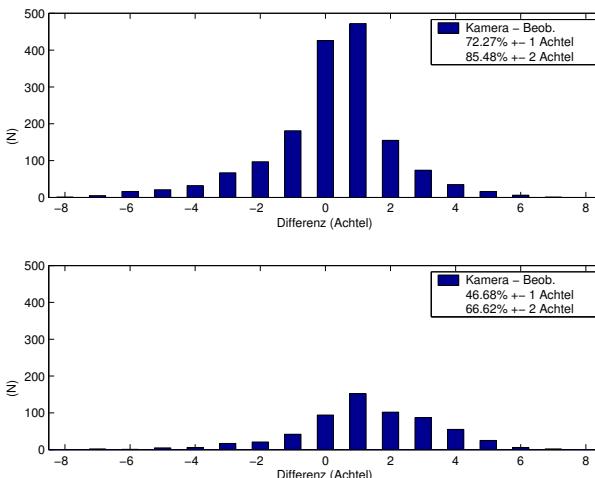
#### 3.1 Bedeckungsgrad aus Kamerabildern und synoptischen Beobachtungen

Die Bestimmung des Bedeckungsgrades aus den Kamerabildern (TCA) erwies sich als schwierig, da starke Vorwärtsstreuung an atmosphärischen Aerosolen nahe der



**Abb. 3.** Bedeckungsgrad nach APCADA und Wolkenkamera sowie LDR für den 06.Juni 2005.

Sonnenposition auftrat (insbesondere bei Fällen mit wolkenlosem Himmel), ebenso wie Streuung an der Acrylkuppel, welche die empfindliche Kamera schützt. So wurden verschiedene Techniken angewandt, die resultierende Überschätzungen des TCA zu minimieren (siehe Abb. 2).



**Abb. 4.** Häufigkeitsverteilung der Differenzen der Bedeckungsgrade aus den Kamerabildern und den synoptischen Beobachtungen, (a) April-August 2005 und (b) Juni-September 2004.

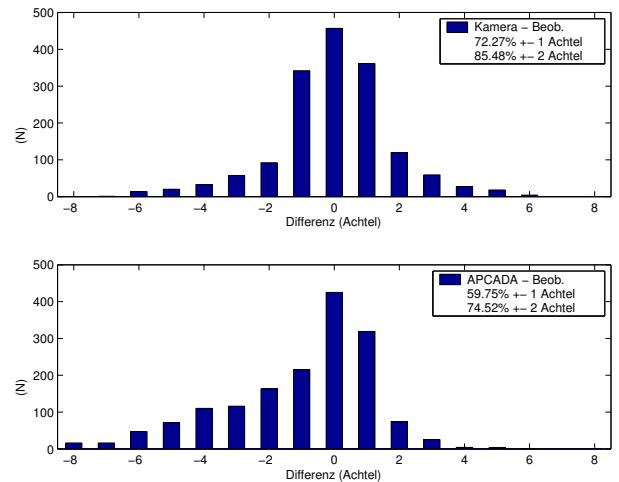
Die Vergleiche mit den synoptischen Beobachtungen des Deutschen Wetterdienstes zeigen, daß diese Verbesserungen, die für die Messungen 2005 etabliert wurden, eine deutliche Verbesserung gegenüber denen von 2004 erzielen (Abb. 4).

Stimmte der berechnete Bedeckungsgrad für 2004 nur zu 46.68 % mit  $\pm 1$  Achtel überein, so wurde dieses Ergebnis auf 72.27 % im Jahr 2005, also um etwa 25 %, verbessert. Außerdem konnte die Überschätzung des TCA von 69.53 %

auf 47.29 % verringert werden. Die Maxima bei 0 und 1 Achtel treten nun stärker hervor und führen so zu diesem deutlich besseren Ergebnis. Zu Beachten ist hierbei immer, daß ein Unterschied von  $\pm 1$  Achtel auch bei geübten Beobachtern schnell auftreten kann.

### 3.2 Bedeckungsgrad nach APCADA - Vergleich 2005

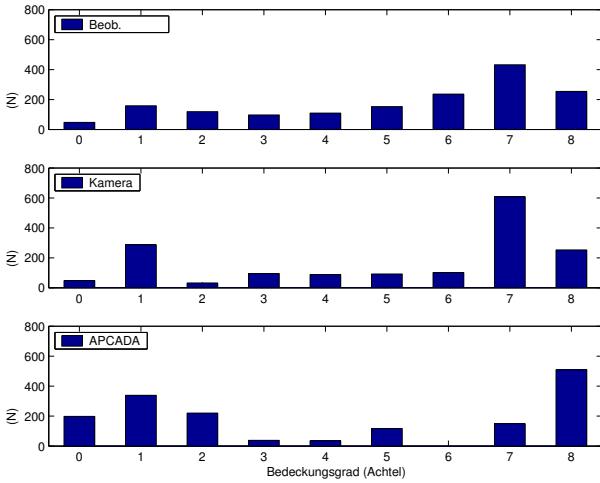
Zuätzlich zu den Verbesserungen des Ausleseprogramms der Wolkenkamera wurde im Sommer 2005 der APCADA-Algorithmus für die Messstation auf Sylt implementiert. Dieses ist der erste Versuch, alle drei Möglichkeiten der Bedeckungsgradbestimmung zeitgleich miteinander zu vergleichen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5 dargestellt.



**Abb. 5.** Häufigkeitsverteilung der Differenzen der aus Wolkenkamerabildern und APCADA bestimmten Bedeckungsgrade mit Beobachtungen des DWD (Flughafen Sylt), April-August 2005.

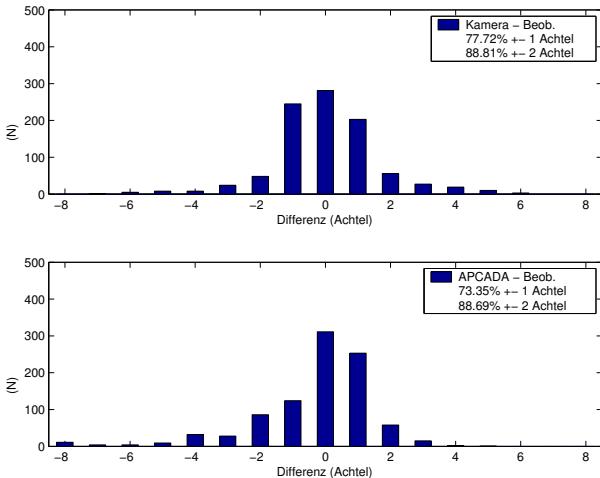
Während die TCA aus den Kamerabildern die Beobachtungen meistens überschätzen, unterschätzen die PCA nach APCADA die Beobachtungen in 46.98 % aller Fälle. Das größte Problem dürfte hier bei der Identifikation der Cirruswolken aus der langwelligen Gegenstrahlung liegen. Somit schneiden die TCA in diesem Vergleich bei einer Übereinstimmung von 72(58) % im Bereich von  $\pm 1(2)$  Achtel(n) deutlich besser ab als die PCA nach APCADA mit 60(74) %.

Abbildung 6 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Bedeckungsgrade, bestimmt nach den drei beschriebenen Methoden. Die TCA der Kamera stimmen mit den Beobachtungen am Besten bei "Broken Cloud" - Bedingungen (also 3-5 Achtel), bei bedecktem (8 Achtel) und wolkenfreiem Himmel (0 Achtel) überein. Dafür wurden alle  $TCA < 0.016$  auf 0 Achtel und alle  $TCA \geq 0.981$  auf 8 Achtel gesetzt. Die PCA nach APCADA zeigen eine deutliche Abweichung bei 7-8 und bei 0-2 Achtel Bedeckung.



**Abb. 6.** Häufigkeitsverteilung der aus Wolkenkamerabildern und nach APCADA bestimmten Bedeckungsgrade und der Beobachtungen des DWD (Flughafen Sylt), April-August 2005.

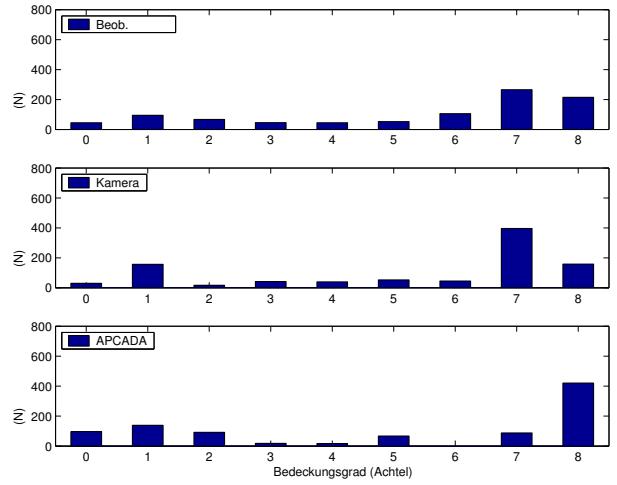
Aufgrund des Problems der Erkennung von Cirruswolken aus der LDR wurden für einen weiteren Vergleich alle Fälle mit Cirrusbedeckung ausgeschlossen. Nun werden auch bei APCADA bessere bis sehr gute Übereinstimmungen erreicht: 73(90) % im Bereich von  $\pm 1(2)$  Achtel(n) (Abb. 7). Auch stimmen nun die Bedeckungsgrade im Bereich von 0-5 Achtel viel besser überein, nur die Unterschiede bei 7-8 Achtel Bedeckung sind weiterhin markant (Abb. 8).



**Abb. 7.** Siehe Abb. 5, aber für alle Fälle ohne Cirrusbedeckung.

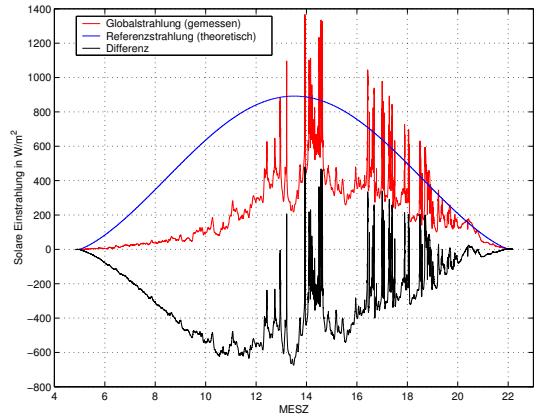
### 3.3 Wolkenstrukturen - Beispiele

Da die Zusammenhänge zwischen Bedeckung und Strahlungserhöhungen bei SCHADE et al. (2007) ausführlich untersucht worden sind, soll hier nur noch kurz das Wesentliche zusammengefaßt werden. Die Strahlungserhöhungen wurden nach LONG and ACKER-



**Abb. 8.** Siehe Abb. 6, aber für alle Fälle ohne Cirrusbedeckung.

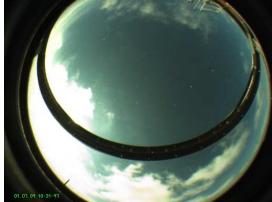
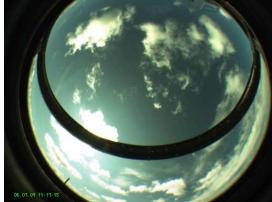
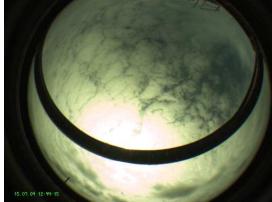
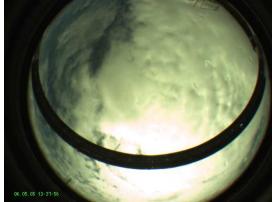
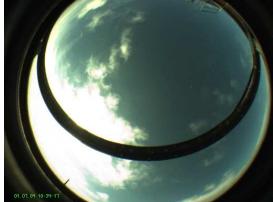
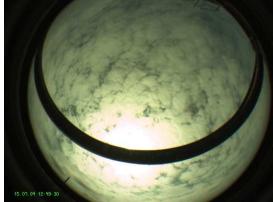
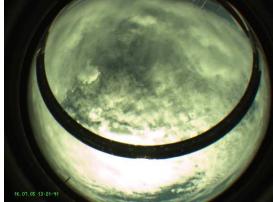
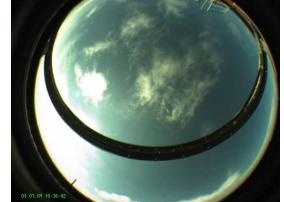
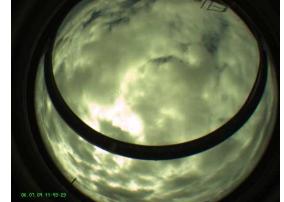
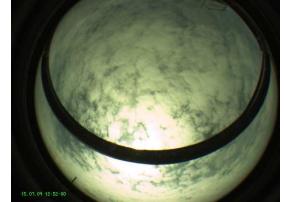
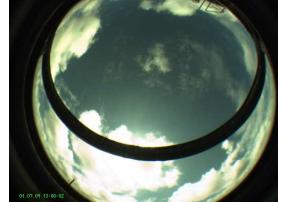
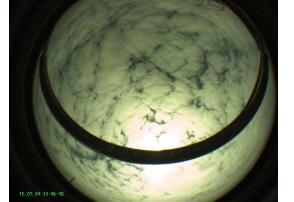
MAN (2000) aus der gemessenen Globalstrahlung minus einer theoretischen Referenzstrahlung bei unbewölktem Himmel bestimmt (siehe Abb. 9).



**Abb. 9.** Tagesgang der Globalstrahlung (rot), sowie der theoretischen Referenzstrahlung bei unbewölktem Himmel (blau) und der daraus resultierenden Differenz (schwarz) vom 26.Juni 2004.

Aus den zeitnah zu den Strahlungserhöhungen aufgenommenen Kamerabildern läßt sich nun erkennen, daß die stärksten Strahlungserhöhungen bei nahezu bedecktem Himmel auftreten (Abb. 10), wobei die Sonnenscheibe von Altocumuluswolken teilweise verdeckt wird und bevorzugt Cumulusbewölkung in tieferen Schichten auftritt. Somit scheint der physikalische Mechanismus, der sich für die stärksten lokalen Strahlungswerte verantwortlich zeichnet, eine Kombination aus diffuser Streuung in größerer Höhe und Reflexion an den Seiten tieferer Wolken zu sein. SABBURG and WONG (2000) haben dies bereits für UV-B Strahlung gezeigt.

Strahlungswerte von  $400 \text{ W/m}^2$  über der theoretischen

(a) 01.Juli 2004, 10:31:47  
MESZ, 481.16 W/m<sup>2</sup>(e) 06.Juli 2004, 11:17:15  
MESZ, 417.69 W/m<sup>2</sup>(i) 15.Juli 2004, 12:44:15  
MESZ, 472.63 W/m<sup>2</sup>(m) 06.Mai 2005, 13:37:56  
MESZ, 408.48 W/m<sup>2</sup>(b) 01.Juli 2004, 10:34:17  
MESZ, 408.58 W/m<sup>2</sup>(f) 06.Juli 2004, 11:21:00  
MESZ, 412.90 W/m<sup>2</sup>(j) 15.Juli 2004, 12:49:30  
MESZ, 426.50 W/m<sup>2</sup>(n) 16.Juli 2005, 13:21:41  
MESZ, 404.30 W/m<sup>2</sup>(c) 01.Juli 2004, 10:36:02  
MESZ, 424.26 W/m<sup>2</sup>(g) 06.Juli 2004, 11:43:29  
MESZ, 402.99 W/m<sup>2</sup>(k) 15.Juli 2004, 12:52:00  
MESZ, 439.08 W/m<sup>2</sup>(d) 01.Juli 2004, 13:00:02  
MESZ, 408.49 W/m<sup>2</sup>(h) 15.Juli 2004, 12:42:30  
MESZ, 472.42 W/m<sup>2</sup>(l) 15.Juli 2004, 13:46:45  
MESZ, 409.55 W/m<sup>2</sup>(p) 12.Juni 2005, 13:07:54  
MESZ, 522.33 W/m<sup>2</sup>**Abb. 10.** Beispiele für bewölkten Himmel zu Zeiten von Strahlungserhöhungen  $> 400 \text{ W/m}^2$ . Dargestellt sind alle Fälle im Juli 2004 (a-l) und Beispiele aus dem darauf folgenden Jahr (m-p). Da viele Fälle aufgrund des "Blooming Effekts" (p) nicht ausreichend genau beschrieben werden können, werden sie hier nicht gezeigt (Abb. aus SCHADE et al., 2007).

Referenzstrahlung haben eine maximale Dauer von etwa 20 Sekunden, während Werte von über  $200 \text{ W/m}^2$  über mehr als 2 Minuten andauern können. Solche Strahlungserhöhungen dürften auch aus medizinischer und biologischer Sicht interessant und relevant sein.

#### 4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Messkampagne auf Sylt während der Sommermonate 2004/2005 hatte zum einen das Ziel, den Effekt des Wolkenbedeckungsgrads auf die kurzwellige solare Einstrahlung (SDR) zu untersuchen, zum anderen, die zwei verschiedenen Möglichkeiten der Wolkenbedeckungsgradbe-

stimmung, einmal aus der gemessenen langwellige Gegenstrahlung, einmal aus Wolkenkamerabildern, miteinander zu vergleichen.

Unsere Ergebnisse zeigen, daß stärkere kurzzeitige Strahlungserhöhungen auftreten können, als bisher vermutet (PFISTER et al., 2003, ESTUPINAN et al., 1996). Die stärksten Erhöhungen lagen mit  $522 \text{ W/m}^2$  um etwa 100  $\text{W/m}^2$  über den bisher veröffentlichten Werten. Solche kurzzeitigen Variationen haben auch einen Effekt auf die Photosynthese von z.B. Marin Algen oder Phytoplankton (DROMGOOLE, 1988).

Die Bedeckungsgrade, die aus den Wolkenkamerabildern

bestimmt wurden, liegen dichter an den Beobachtungen, als die nach dem APCADA-Algorithmus aus der langwelligen Gegenstrahlung berechneten Bedeckungsgrade. Dies liegt zum einen an der kurzen Zeitspanne (nach DÜRR und PHILIPONA sollten wenigstens 3 Jahre untersucht werden), die für die Ermittlungen der Emissivität des wolkenfreien Himmels zur Verfügung stand, zum anderen an den Problemen, Cirrusbedeckung aus der LDR zu erkennen. Läßt man die Fälle mit Cirrusbedeckung außer Acht, sind die Ergebnisse durchaus miteinander vergleichbar und liegen nur wenige Prozent auseinander, was die Möglichkeiten aufzeigt, die sich mit APCADA ergeben können, sollte das Problem der Erkennung von Cirruswolken gelöst werden.

*Danksagung.* Unser Dank gilt der "Wolken- und Strahlungsgruppe" des IFM-GEOMAR für technische Unterstützung, Dr. Klaus Uhlig für Entwicklung und Bau der Wolkenkamera, Bruno Dürr für seine Unterstützung bei der Implementierung des APCADA-Algorithmus und dem DWD für den Beobachtungsdatensatz vom Sylter Flughafen.

## Literatur

BERK, A., G.P. ANDERSON, P.K. ACHARYA, J.H. CHETWYND, L.S. BERNSTEIN, E.P. SHETTLE, M.W. MATTHEW, 2000: MODTRAN4 users manual, *Air Force Res. Lab, Hanscom Air Force Base, Mass.*

DROMGOOLE, F.I., 1988: Light fluctuations and the photosynthesis of marine algae. II: Photosynthetic response to frequency, phase ratio and amplitude. – *Funct. Ecol.* **2**, 211–219.

DÜRR, B., R. PHILIPONA, 2004: Automatic cloud amount detection by surface longwave downward radiation measurements. – *J. Geophys. Res.* **109**, D05201, doi:10.1029/2003JD004182.

ESTUPINAN, J.G., S. RAMAN, G.H. GRESCENTI, J.J. STREICHER, W.F. BARNARD, 1996: Effects of clouds and haze on UV-B radiation. – *J. Geophys. Res.* **101**, 16807–16816.

LONG, C.N., T.P. ACKERMAN, 2000: Identification of clear skies from broadband pyranometer measurements and calculation of downwelling shortwave cloud effects. – *J. Geophys. Res.* **105**, 15609–15626.

LONG, C.N., D.W. SLATER, T. TOOMAN, 2001: Total sky imager model 880 status and testing results. – *ARM TR-006*, 1–17.

MORRIS, V., 2004: Total Sky Imager (TSI). – <http://www.arm.gov/docs/instruments/static/tsi.html>. 12.02.2004.

OZNOVITCH, I., R. YEE, A. SCHIFFLER, D.J. MCEWEN, G.J. SOFKO, 1994: The all-sky camera revitalized. – *Appl. Opt.* **33**, 7141–7150.

PFISTER, G., R.L. MCKENZIE, J.B. LILEY, A. THOMAS, 2003: Cloud coverage based on all-sky imaging and its impact on surface solar irradiance. – *J. Appl. Meteor.* **42**, 1421–1434.

SABBURG, J., J. WONG, 2000: The effect of clouds on enhancing UVB irradiance at the earth's surface: a one year study. – *Geophys. Res. Lett.* **27**, 3337–3340.

SCHADE, N.H., 2005: Experimentelle Erfassung und Interpretation der solaren Einstrahlung bei durchbrochener Bewölkung. – *Leibniz Institut fuer Meereswissenschaften an der Christian-Albrechts-Universität Kiel*, Diplomarbeit.

SCHADE, N.H., A. MACKE, H. SANDMANN, C. STICK, 2007: Enhanced solar global irradiance during cloudy sky conditions. – *Meteorol. Z.* **16**(3), 295–303.

SHIELDS, J.E., M.E. KARR, T.P. TOOMAN, D.H. SOWLE, S.T. MOORE, 1998: The Whole-Sky Imager – A year of Progress. – [http://www.arm.gov/docs/documents/technical/conf\\_9803/shields\\_98.pdf](http://www.arm.gov/docs/documents/technical/conf_9803/shields_98.pdf). 12.02.2004.